

П.Ф. ШАПОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ"

Т.Г. ОСИНА, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ"

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Розглянуто питання використання електричних вимірювальних сигналів у вигляді випадкових процесів для дослідження станів біологічних об'єктів. Статистично доведена можливість використання процедур інформаційного перетворення спектрально нестационарних контрольованих сигналів для виявлення функціональних порушень в об'єктах з невизначеними властивостями.

The issue of using measuring electrical signals in the form of random processes to investigate the state of biological objects are consider. Statistically proven ability to use the procedures of the information transformation spectrally nonstationary controlled signals for detecting functional abnormalities in the objects with uncertain properties.

Постановка задачи. При мониторинге состояний биологических объектов, как в клинической медицинской практике, так и в научных исследованиях, использование электрических измерительных сигналов позволяет получить информацию в виде случайных процессов, отражающих динамику изменения, как контролируемых состояний, так и влияющих факторов. Изменение уровней последних обуславливает дискретную априорную неоднородность результатов измерений, вызывающую неопределенность в оценке уровней качественных состояний объекта контроля. Особую актуальность приобретают задачи контроля в реальном времени состояния органов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). Такие заболевания сопровождаются нарушениями биоэлектрической активности гладкой мускулатуры этих органов [1].

Анализ литературы. Исследование процедур обработки первичной информации, представленной в форме спектрально-нестационарных случайных процессов, для контроля и функциональной диагностики в реальном времени органов ЖКТ достаточно полно рассмотрено в литературе [2]. Общий аналитический обзор первичных преобразователей, используемых в биотехнических системах, представлен в литературе [3].

Цель статьи – показать статистически обоснованные возможности процедур информационного преобразования спектрально нестационарных контролируемых сигналов, используемых для обнаружения функциональных нарушений в объектах с неопределенными свойствами.

Общие задачи контроля. Выбор информативных параметров. Основная задача, возникающая в ходе контроля изменений свойств динамического объекта, является задачей параметрического тестирования входных

случайных сигналов на отсутствие (или наличие) количественных изменений значений тех или иных числовых характеристик.

Общая модель тестирования – следующая. Дана последовательность x_1, \dots, x_n измерений значений сигнала $x(t)$ в моменты времени t_1, \dots, t_n . Выдвинуты основная (H_0) и альтернативная (H_1) гипотезы о возможных состояниях (S_0 и S_1) объекта контроля,

$$H_0 : \{x_1, \dots, x_{r-1}\} \in X(t/S_0),$$

$$H_1 : \{x_r, \dots, x_n\} \in X(t/S_1),$$

где r – момент времени изменения состояния ($1 < r < n$) [4].

Выбор тестовых статистик, как информативных параметров процесса $x(t)$, зависит от наличия априорной информации о вероятностных свойствах информационных сигналов $X(t/S_0)$ и $X(t/S_1)$.

Наиболее привлекательными, в плане минимума оцениваемых параметров при независимом тестировании гипотез H_0 или H_1 , являются двухмодельные статистики накопленных сумм [4], позволяющие обнаруживать спектральные изменения измерительного сигнала $x(t)$:

$$T_n = \frac{1}{\sqrt{2n}} \sum_{k=1}^n \left(\frac{\varepsilon_k^2}{\sigma_s^2} - 1 \right), \quad (1)$$

где ε_k – случайная составляющая сигнала $\varepsilon_i(t) = \{\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n\}$, имеющая нулевое математическое ожидание; σ_s^2 – условная дисперсия центрированно-го процесса $x(t)$, когда

$$\sigma_s^2 = \begin{cases} \sigma_0^2, & \text{если } S \in S_0, \\ \sigma_1^2, & \text{если } S \in S_1. \end{cases}$$

Параметрами модели (1) являются дисперсии σ_0^2 и σ_1^2 , что позволяет обнаруживать изменение мощности контролируемого сигнала $x(t)$.

Для обнаружения изменений автокорреляционной функции, из-за смещения спектра процесса $x(t)$, модель (1) может быть трансформирована в статистику [5]

$$\tau_N = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta t_i}{\tau_s} - 1 \right), \quad (2)$$

где Δt_i – интервал времени между i -тым и $(I+1)$ -м пересечениями нуля центрированным процессом $\overset{0}{x(t)}, i = \overline{1, N}$; τ_s – условный интервал корреляции, удовлетворяющий требованиям:

$$\tau_s = \begin{cases} \tau_0, & \text{если } S \in S_0, \\ \tau_1, & \text{если } S \in S_1. \end{cases}$$

Описание первичного преобразователя и системы контроля.

Для контроля биопотенциалов органов ЖКТ использовался электропотенциальный преобразователь [2], разработанный и изготовленный в НТУ «ХПИ», позволяющий оценивать суммарную электрическую активность мышечных стенок органов ЖКТ.

На рис. 1 этот преобразователь схематически изображен в виде зонда, на оболочке 1 которого закреплены три кольцевых 2, 3, 4 электрода, изготовленных из титана. Электроды 2 и 4 являются сигнальными, а электрод 3 – заземляющим, присоединенным к экрану 5 зонда.

Выходной сигнал E_x преобразователя (входная величина системы контроля) усиливается с помощью электромиографического комплекса ЭМГСТ – 01.

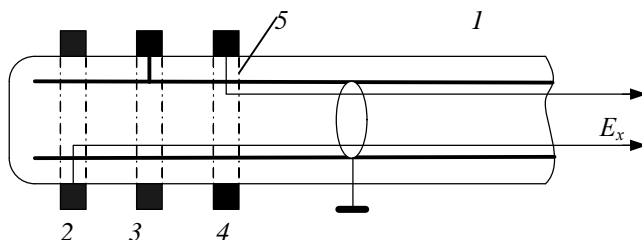


Рис. 1. Преобразователь биоэлектрической активности

На рис. 2 представлена структурная схема микропроцессорной системы для функционального контроля и диагностики, в которой помимо электропотенциального преобразователя использовался стандартный преобразователь давления в электрический сигнал U_x (Siemens Elema 746 b), позволяющий осуществлять независимый контроль изменений функционального состояния органов ЖКТ в диапазоне изменения давления $(-20 \div 300)$ мм Hg.

Диапазон изменения значений сигнала E_x составил ± 200 мкВ. Оба преобразователя размещались на конце зонда, причем преобразователь давления служил для получения измерительной информации о смене функциональных состояний на этапе обучения системы контроля.

Аналогово-цифровые фильтры 1, 2 и 3 использовались для выделения спектральных составляющих сигналов E_x и U_x , соответствующих группам функциональных состояний. С выхода АЦП АТ 90S4433 через интерфейс RS232 результаты измерений поступали на ЭВМ и анализировались с помощью пакета анализа сигналов Simulink 4.0, входящего в программное обеспечение MATLAB 6.1 [6].

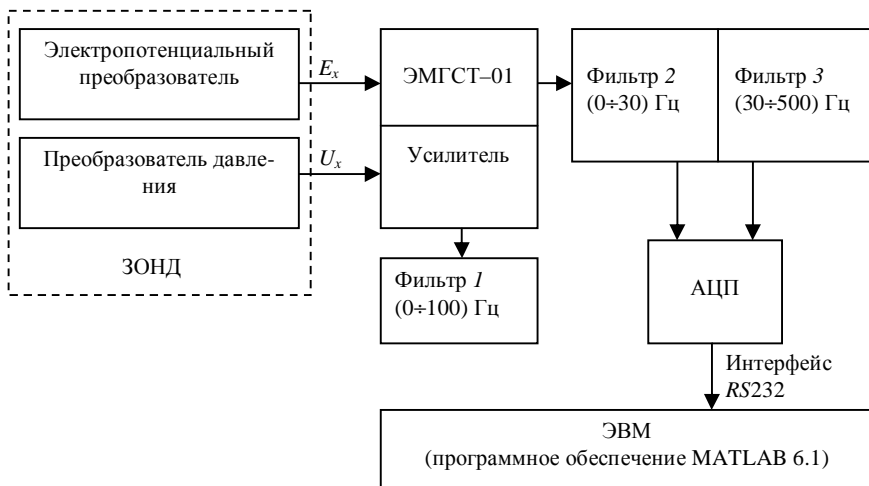


Рис. 2. Структурная схема микропроцессорной системы контроля функциональных состояний органов ЖКТ

Электропотенциальный преобразователь системы контроля позволяет получать первичные случайные сигналы с контролируемой, в ходе вторичных информационных преобразований, нестационарностью по дисперсии.

Экспериментальные исследования системы контроля. Для изучения стохастической неопределенности уровней состояний были получены, в ходе клинических испытаний, временные диаграммы сигналов $e(t/S_j)$, включая их спектральные плотности (в двухмерном и трехмерном вариантах), где $S_e(\omega)$ – спектральная плотность случайного сигнала $e(t)$, в мВ²с/рад; ω – круговая частота, в рад/с; t – время наблюдения, в мс или мкс (рис. 3).

Для контроля были использованы статистики накопленных сумм T_n и τ_N , представленных уравнениями (1) и (2).

Практические результаты. Как показали результаты клинических испытаний использование информативных параметров (1) и (2) позволило не только в три раза снизить вероятность ошибки второго рода β (по сравнению с ненормализованной статистикой T_n), но увеличить достоверность контроля функциональных состояний до величины $P_D = (0,89 \pm 0,01)$ по сравнению с величиной $P_D = (0,75 \pm 0,01)$, имеющей место в традиционных методиках функциональной диагностики.

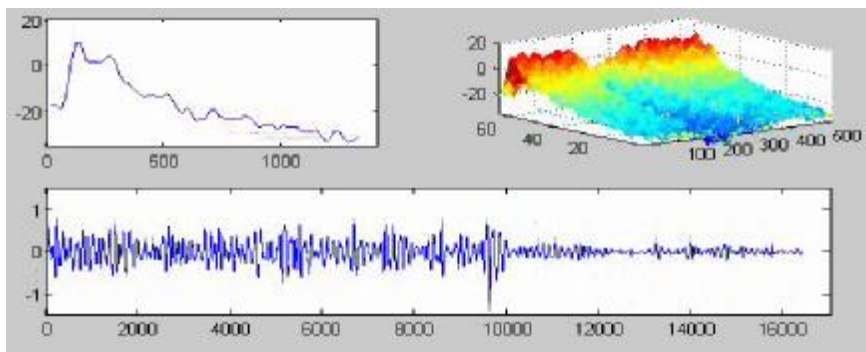


Рис. 3. Временные диаграммы контролируемого сигнала при изменении функционального состояния динамического объекта контроля

Выводы.

1. Разработаны математические модели информативных параметров случайных контролируемых сигналов, используемых для обнаружения скачкообразных изменений состояния динамического объекта.
2. Доказана эффективность использования таких моделей при контроле изменений спектральной нестационарности случайных сигналов.

Список литературы: 1. Зайченко К.В. Съём и обработка биоэлектрических сигналов: [учеб. пособие / под ред. К.В. Зайченко] – С.Пб.: СПбГУАП, 2001.– 140 с. 2. Велигодский Н.Н. Диагностика функционального состояния нижнего пищеводного сфинктера у больных с ГЭРБ с использованием методов обработки случайных сигналов измерительной информации [Текст] / Велигодский Н.Н., Щапов П.Ф., Горбулич А.В. [та ин.] // Вісник морфології. – 2003. – № 2. – С. 446-449. 3. Мащенко Т.Г. Датчики в биотехнических системах: [учеб. пособие] / Т.Г. Мащенко– Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – 224с. 4. Басвиль М. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем / [М. Басвиль, А. Вилски и др.]; пер. с англ. под ред. М. Басвиль, А. Банвениста. – М.: Мир, 1989. – 278 с. 5. Щапов П.Ф. Нормализация метрологически неопределённых информационных сигналов для систем измерительного контроля динамических объектов [Текст] / П.Ф. Щапов // Механіка та машинобудування.–2006.–№1.– С.280-286. 6. Замятин П.Н. Разработка модифицированного алгоритма прогнозирования стохастических временных рядов в дилинговых информационных системах [Текст] / П.Н. Замятин, П.Ф. Щапов, Д.В. Сафронов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2004. – № 4. – С. 50-53.

Поступила в редакцию 17.05.2010